

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

13.03.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2003年 3月 4日

出 願 番 号

Application Number:

特願2003-057013

[ST.10/C]:

[JP2003-057013]

出 願 人

Applicant(s):

株式会社フジクラ

REC'D 09 MAY 2003

WIPO

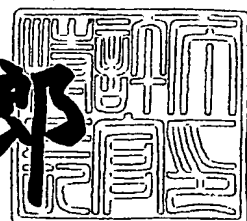
PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 4月22日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3029477

【書類名】 特許願

【整理番号】 20030050

【提出日】 平成15年 3月 4日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/18

【発明の名称】 分散補償光ファイバ

【請求項の数】 9

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 愛川 和彦

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 清水 正砂

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 鈴木 龍次

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 中山 真一

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 姫野 邦治

【特許出願人】

【識別番号】 000005186

【氏名又は名称】 株式会社フジクラ

【代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】 100108578

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆

【選任した代理人】

【識別番号】 100101465

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 正和

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002- 69077

【出願日】 平成14年 3月13日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704943

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 分散補償光ファイバ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 1. $53\mu\text{m}$ ～ $1.63\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径 20mm で巻いたときの曲げ損失が $5\text{dB}/\text{m}$ 以下、波長分散が $-120\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値が $200\text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$ 以上であり、使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.53\mu\text{m}$ 以下であり、

クラッド外径が $80\mu\text{m}$ ～ $100\mu\text{m}$ 、被覆外径が $160\mu\text{m}$ ～ $200\mu\text{m}$ であり、被覆樹脂表面の粘着性が $10\text{gf}/\text{mm}$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項2】 請求項1に記載の分散補償光ファイバの被覆樹脂表面の粘着性が $1\text{gf}/\text{mm}$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項3】 前記クラッドの外周上に設けられた1次被覆層のヤング率が $0.15\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以下であり、1次被覆層の厚さが $20\mu\text{m}$ ～ $30\mu\text{m}$ であり、この1次被覆層の外周上に設けられた2次被覆層のヤング率が $50\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上であり、2次被覆層の厚さが $15\mu\text{m}$ ～ $30\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1または2に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項4】 少なくとも中心コア部、中間コア部およびリングコア部からなるコアと、その外周上に設けられたクラッドとを備え、クラッドに対する中心コア部の比屈折率差が $+1.6\%$ ～ $+2.6\%$ 、クラッドに対する中間コア部の比屈折率差が -0.30% ～ -1.4% 、クラッドに対するリングコア部の比屈折率差が $+0.30\%$ ～ $+1.0\%$ であり、

中心コア部半径に対する中間コア部半径の比が 1.5 ～ 3.5 、中間コア部半径に対するリングコア部半径の比が 1.2 ～ 2.0 、コア半径が $4\mu\text{m}$ ～ $8\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の分散補償光ファイバ。

【請求項5】 少なくとも中心コア部および中間コア部からなるコアと、その外周上に設けられたクラッドとを備え、クラッドに対する中心コア部の比屈折

率差が+1.6%~+2.6%、クラッドに対する中間コア部の比屈折率差が-0.30%~-1.4%であり、

中心コア部半径に対する中間コア部半径の比が1.5~3.5、コア半径が4 μm ~8 μm であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の分散補償光ファイバ。

【請求項6】 1.53 μm ~1.57 μm から選択された少なくとも1つ以上の波長において、

分散スロープを波長分散で割った値が0.0026 nm^{-1} ~0.010 nm^{-1} であることを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の分散補償光ファイバ。

【請求項7】 1.53 μm ~1.57 μm から選択された少なくとも1つ以上の波長において、

分散スロープを波長分散で割った値が0.0026 nm^{-1} ~0.0041 nm^{-1} であることを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の分散補償光ファイバ。

【請求項8】 1.57 μm ~1.63 μm から選択された少なくとも1つ以上の波長において、

分散スロープを波長分散で割った値が0.0022 nm^{-1} ~0.010 nm^{-1} であることを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の分散補償光ファイバ。

【請求項9】 1.57 μm ~1.63 μm から選択された少なくとも1つ以上の波長において、

分散スロープを波長分散で割った値が0.0022 nm^{-1} ~0.0035 nm^{-1} であることを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の分散補償光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、1.3 μm 帯に零分散波長を有する1.3 μm 帯零分散シングルモ

ード光ファイバ (Standard Single Mode Fiber、以下、「S-SMF」と略記する。)、もしくは $1.55\mu\text{m}$ 帯で数 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散を有するノン零分散シフト光ファイバ (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber、以下、「NZ-DSF」と略記する。)の波長分散を補償する分散補償光ファイバに関し、特に、小型リールに巻き込んでモジュール化しても特性劣化の少ない分散補償光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】

一般的に光ファイバ伝送路の伝送距離を長くし、伝送速度を高速化し、波長多重数を増やすと、伝送損失、累積波長分散、偏波モード分散 (Polarization Mode Dispersion、以下、「PMD」と略記する。)が問題となる。伝送損失については、エルビウム添加光ファイバ増幅器が実用化されたことによって補償することが可能となった。次に問題となるのが累積波長分散である。伝送速度と許容される波長分散の関係を図3に示す。この累積波長分散は、分散補償光ファイバなどを用いたモジュールによって補償することが可能である。

ところで、現在、S-SMF網は、世界中に広がっている。この光ファイバ網を用いて $1.55\mu\text{m}$ 帯の伝送を行うと、この $1.55\mu\text{m}$ 帯では、約 $+17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散が生じる。そのため、この光ファイバを用いて信号を伝送すると、長距離伝送では累積した波長分散の影響で伝送特性が大きく劣化する。また、S-SMFよりも $1.55\mu\text{m}$ 帯で波長分散が小さなNZ-DSFも主に長距離伝送路を中心に敷設されているが、同様に伝送路で蓄積した波長分散を補償する必要がある。

【0003】

さらに、現在は、通信容量の増大に伴い、波長多重 (Wavelength Division Multiplexing、以下、「WDM」と略記する。)伝送の開発が進められ、既に多くの伝送路でWDM伝送が実用化されている。WDM伝送の際には、使用する波長帯全域にわたって許容される波長分散を小さ

くする必要がある。そのために、波長分散だけではなく、分散スロープの補償も必要となる。図4に伝送用光ファイバ、分散補償光ファイバ、および分散補償後の残留分散特性を示す。分散補償光ファイバの分散スロープが伝送用光ファイバの分散スロープと逆の符号であると、広帯域で残留分散が小さくなることが分かる。この分散スロープ補償の性能を示す指標にRDSがある。RDSは、波長分散に対する分散スロープの比(RDS; Relative Dispersion Slope)である。波長分散をD、分散スロープをSとすると、RDSは下記式(1)のように表すことができる。

$$RDS = S/D \quad (1)$$

広帯域で残留分散を小さくするためには、伝送用光ファイバの波長分散とは分散の符号が逆であり、RDSができるだけ近い値をとる必要がある。

【0004】

このような分散補償光ファイバモジュールとしては、例えば、特許文献1には、波長1.3 μm 帯に零分散波長を有する標準シングルモード光ファイバの波長分散を1.55 μm 帯で補償する -20 ps/nm/km 以下の波長分散を有する分散補償光ファイバの技術が開示されている。また、特許文献2では、接続損失を低減しながら、分散スロープを低減し、単位長さ当りの波長分散の絶対値を大きくした分散補償光ファイバの技術が開示されている。

また、特許文献3には、分散スロープがマイナスで、波長分散を -100 ps/nm/km 以下とした分散補償光ファイバの技術が開示されている。

一方、特許文献4には、図2のような被覆構造を有する光ファイバにおいて外径が125 μm より小さい光ファイバ裸線(クラッド)の周上に、ヤング率0.1 kgf/mm^2 以下の1次被覆層を有し、この1次被覆層の周上にヤング率150 kgf/mm^2 以上の2次被覆層を有する細径光ファイバが示されており、この特許文献4の実施例6には60 μm クラッド、160 μm 被覆、 -80.0 ps/nm/km の細径分散補償光ファイバが開示されている。

【0005】

また、特許文献5にも、伝送波長において波長分散を有する光ファイバに接続して、前記波長分散を相殺し、伝送波長における伝送システム全体の波長分散を

実質的に零にする、または零に近づけるための分散補償光ファイバであって、石英系ガラスからなるコアと、このコアの外周に形成された、石英系ガラスからなるクラッドと、このクラッドの外周に形成されたプラスチック樹脂からなる被覆層とを具備するとともに $250\text{ }\mu\text{m}$ より小さい外径を有し、前記被覆層は $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上の厚さを有し、内層とこの内層よりも高いヤング率の外層とを含む少なくとも2層以上の多層構造を有する分散補償光ファイバの技術が開示されており、この特許文献5の実施例にはクラッド外径が $60\text{ }\mu\text{m} \sim 125\text{ }\mu\text{m}$ 、被覆外径が $110\text{ }\mu\text{m} \sim 250\text{ }\mu\text{m}$ 、波長分散が -105 ps/nm/km 前後の細径分散補償光ファイバが開示されている。

また、非特許文献1にも、波長分散が $-102\text{ ps/nm/km} \sim -110\text{ ps/nm/km}$ 、クラッド外径が $90\text{ }\mu\text{m} \sim 125\text{ }\mu\text{m}$ 、被覆外径が $150\text{ }\mu\text{m} \sim 185\text{ }\mu\text{m}$ の細径分散補償光ファイバを試作し、側圧による損失増加および強度の点で問題がないことが報告されている。

【0006】

【特許文献1】

特開平6-11620号公報

【特許文献2】

特開平11-95056号公報

【特許文献3】

特開平8-136758号公報

【特許文献4】

特開平8-54546号公報

【特許文献5】

特開平10-115725号公報または米国特許第5、887、104号明細書

【非特許文献1】

小川 直人他、“小型分散補償器用分散補償光ファイバ”、電子情報通信学会1999年総合大会講演論文集、1999年3月25日、通信2、B-13-4、p585

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

このような分散補償光ファイバは、伝送用光ファイバの $1/5 \sim 1/7$ 程度の長さをコイルに巻き込みケースに入れてモジュール化されるが、一つの分散補償光ファイバモジュールで120km程度の伝送用光ファイバの累積分散を補償するときは、必要な分散補償光ファイバの長さは20km前後であり、非常に長い分散補償光ファイバを巻き込む必要がある。

しかし、モジュールのサイズは必要分散補償量によらずに一定の大きさであることが望ましく、補償する分散量の絶対値が大きな場合でも小さなケースに多くの分散補償光ファイバを巻き込む必要がある。さらに、伝送装置自体を小さくするためにも、この分散補償光ファイバモジュールはできるだけ小型であることが望ましい。

【0008】

モジュールの体積は、分散補償光ファイバの巻き込み体積に依存する。この巻き込み体積は、被覆を含む断面積と分散補償光ファイバの条長の積で表される。

そのため、モジュールを小型化するためには、特許文献4や特許文献5に開示されているように、分散補償光ファイバを細径化することが有効である。

これまでの分散補償光ファイバの開発は、伝送損失を劣化させない範囲で単位長さ当りの波長分散の絶対値を大きくし、光学特性、信頼性を劣化させないように、許容される範囲内で光ファイバの細径化を進めてきた。しかし、前述の公報、および学会報告の技術では、モジュール損失の温度特性を安定させ、かつ使用波長範囲の全てにわたって曲げ損失に起因する損失増を抑えながらモジュールの小型化を進めるためには不十分であった。

【0009】

本発明は、上述の課題を解決するためになされたもので、従来の分散補償光ファイバモジュールに対して体積比で半分以下となるような小型の分散補償光ファイバモジュールについて、低損失、低PMD、かつ安定した温度特性を有するようにするために考え出されたものであり、胴径90mm以下の小型コイルに巻き込んで、分散補償光ファイバモジュールを作製しても、通常使用される温度範囲

($-5^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$)において、モジュール損失の変動が $\pm 0.5\text{ dB}$ 以下である分散補償光ファイバを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

以上の課題を解決するために、請求項1記載の発明は、 $1.53\mu\text{m}\sim 1.63\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径 20 mm で巻いたときの曲げ損失が 5 dB/m 以下、波長分散が -120 ps/nm/km 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値が 200 ps/nm/dB 以上であり、使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.53\mu\text{m}$ 以下であり、クラッド外径が $80\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 、被覆外径が $160\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ で、被覆樹脂表面の粘着性が 10 gf/mm 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバである。

【0011】

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する損失増や、特にマイクロバンド特性に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現することが可能であり、小型コイルに巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを作製しても、通常使用される温度範囲($-5^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$)において、モジュール損失の変動が $\pm 0.5\text{ dB}$ 以下という安定した温度特性を有する分散補償光ファイバモジュールを実現することができる。

【0012】

ここで、粘着性とは、光ファイバ同士の接合の度合いとして定義されるものであり、例えばその測定方法は、特開平10-62301号公報において開示されているように、送出口ロール上に互いに重なりあった状態で多数回巻き回された光ファイバ素線を一定張力で巻取り、この巻取り時に光ファイバ素線に掛かる張力変化から測定するものである。

【0013】

請求項2記載の発明は、分散補償光ファイバの被覆樹脂表面の粘着性が 1 gf

／mm以下であることを特徴とする分散補償光ファイバである。

【0014】

これにより、さらに周囲の温度変動に対して安定した損失特性を有する分散補償光ファイバを実現することができる。

【0015】

請求項3記載の発明は、分散補償光ファイバのクラッドの外周上に設けられた1次被覆層のヤング率が 0.15 kgf/mm^2 以下であり、1次被覆層の厚さが $20 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$ であり、この1次被覆層の外周上に設けられた2次被覆層のヤング率が 50 kgf/mm^2 以上であり、2次被覆層の厚さが $15 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$ であることを特徴とする分散補償光ファイバである。

【0016】

これにより、小型リールに巻き込んでも、巻き込みによるモジュール損失の劣化が小さく、特にマイクロバンド特性に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバモジュールを高い信頼性を維持しながら実現することができる。

【0017】

請求項4記載の発明は、少なくともコアとその外周上に設けられたクラッドとを備え、クラッドに対する中心コア部の比屈折率差が $+1.6\% \sim +2.6\%$ 、クラッドに対する中間コア部の比屈折率差が $-0.30\% \sim -1.4\%$ 、クラッドに対するリングコア部の比屈折率差が $+0.30\% \sim +1.0\%$ であり、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比が $1.5 \sim 3.5$ 、中間コア部半径に対するリングコア部半径の比が $1.2 \sim 2.0$ 、コア半径が $4 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0018】

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現することができる。

なお、これらの各層の比屈折率差、および中心コア部半径に対する中間コア部半径の比や中間コア部半径に対するリングコア部半径の比がこれらの範囲であっても、本発明の分散補償光ファイバが得られるとは限らない。このような観点から、本発明では構造パラメータと共に分散補償光ファイバの特性値によっても特定を行うようにしたものである。

【0019】

請求項5記載の発明は、少なくともコアとその外周上に設けられたクラッドとを備え、クラッドに対する中心コア部の比屈折率差が $+1.6\% \sim +2.6\%$ 、クラッドに対する中間コア部の比屈折率差が $-0.30\% \sim -1.4\%$ であり、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比が $1.5 \sim 3.5$ 、コア半径が $4 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0020】

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現することができる。

なお、これらの各層の比屈折率差、および中心コア部半径に対する中間コア部半径の比がこれらの範囲であっても、本発明の分散補償光ファイバが得られるとは限らない。このような観点から、本発明では構造パラメータと共に分散補償光ファイバの特性値によっても特定を行うようにしたものである。

【0021】

請求項6記載の発明は、 $1.53 \mu\text{m} \sim 1.57 \mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0026 \text{ nm}^{-1} \sim 0.010 \text{ nm}^{-1}$ であることを特徴とする。

【0022】

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールを収納することが可能であり、かつ $1.53 \mu\text{m} \sim 1.57 \mu\text{m}$ におけるRDSが $0.0026 \text{ nm}^{-1} \sim 0.010 \text{ nm}^{-1}$ である

ため、典型的に $1.55\mu\text{m}$ で 0.0034nm^{-1} のRDSを有するS-SMFや、 $1.55\mu\text{m}$ 帯で $4\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 前後の波長分散を有し、典型的なRDSとして $0.007\text{nm}^{-1}\sim 0.010\text{nm}^{-1}$ のRDSを有するNZ-DSF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

【0023】

請求項7記載の発明は、 $1.53\mu\text{m}\sim 1.57\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0026\text{nm}^{-1}\sim 0.0041\text{nm}^{-1}$ であることを特徴とする。

【0024】

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、かつRDSが $0.0026\text{nm}^{-1}\sim 0.0041\text{nm}^{-1}$ であるため、典型的に 0.0034nm^{-1} のRDSを有するS-SMF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

【0025】

請求項8記載の発明は、 $1.57\mu\text{m}\sim 1.63\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0022\text{nm}^{-1}\sim 0.010\text{nm}^{-1}$ であることを特徴とする。

【0026】

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、かつ $1.57\mu\text{m}\sim 1.63\mu\text{m}$ におけるRDSが $0.0022\text{nm}^{-1}\sim 0.010\text{nm}^{-1}$ であるため、典型的に $1.59\mu\text{m}$ で 0.0029nm^{-1} のRDSを有するS-SMFや、 $1.59\mu\text{m}$ 帯で数 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 前後の波長分散を有し、典型的なRDSとして $0.005\text{nm}^{-1}\sim 0.010\text{nm}^{-1}$ のRDSを有するNZ-DSF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

【0027】

請求項9記載の発明は、 $1.57\mu\text{m}\sim 1.63\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、分散スロープを波長分散で割った値が $0.0022\text{nm}^{-1}\sim 0.0035\text{nm}^{-1}$ であることを特徴とする。

【0028】

これにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、かつ $1.57\mu\text{m}\sim 1.63\mu\text{m}$ におけるRDSが $0.0022\text{nm}^{-1}\sim 0.0035\text{nm}^{-1}$ であるため、典型的に $1.59\mu\text{m}$ で 0.0029nm^{-1} のRDSを有するS-S MF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

【0029】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を詳細に説明する。

図1(a)、(b)、(c)に、本発明の分散補償光ファイバの屈折率分布の一例を示す。

図1(a)、(b)において、符号1aは中心コア部、符号1bは中心コア部1aの外周上に設けられた中間コア部、符号2は中間コア部1bの外周に設けられたクラッドである。また、図1(c)において、符号1aは中心コア部、符号1bは中心コア部1aの外周上に設けられた中間コア部、符号1cは中間コア部1bの外周上に設けられたリングコア部、符号2はリングコア部1cの外周に設けられたクラッドである。

【0030】

図1(a)、(b)、(c)中、中心コア部1aの半径をa、中間コア部1bの半径をb、リングコア部1cの半径をcとし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差を $\Delta 1$ 、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差を $\Delta 2$ 、クラッド2に対するリングコア部1cの比屈折率差を $\Delta 3$ としている。

中心コア部1aはクラッド2の屈折率より大きい屈折率を有し、中間コア部1bはクラッド2の屈折率より小さい屈折率を有し、リングコア部1cはクラッド2の屈折率より大きい屈折率を有する。

【0031】

本発明の分散補償光ファイバの第1の例は、図1(c)に示すリング付きW型プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を1.5～3.5とし、中間コア部半径に対するリングコア部半径の比 c/b を1.2～2.0とし、コア半径を $4\mu\text{m}$ ～ $8\mu\text{m}$ とし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を+1.6%～+2.6%、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を-0.30%～-1.4%、クラッド2に対するリングコア部1cの比屈折率差 $\Delta 3$ を-0.30%～+1.0%として形成されている。

【0032】

また、この例の分散補償光ファイバは、これらの構成に加えて以下のような特性値によって特定される。その特性値とは、 $1.53\mu\text{m}$ ～ $1.63\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径20mmで巻いたときの曲げ損失が5dB/m以下、波長分散が $-120\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値が $200\text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$ 以上の範囲にあり、かつ使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.53\mu\text{m}$ 以下であり、クラッド外径が $80\mu\text{m}$ ～ $100\mu\text{m}$ 、被覆外径が $160\mu\text{m}$ ～ $200\mu\text{m}$ であり、被覆樹脂表面の粘着性が $10\text{gf}/\text{mm}$ 以下、好ましくは $1\text{gf}/\text{mm}$ 以下となるようにすることである。なお、波長分散は、屈折率分布制御範囲や曲げ損失などの観点から、 $-300\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上程度が製造可能な範囲であり、単位損失当たりの波長分散の絶対値は伝送損失の値などから $500\text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$ 程度までが製造可能な範囲である。

【0033】

この分散補償光ファイバの被覆層の構造を図2に示す。

図2中、符号1はコアであり、符号2はコア1の周囲に形成されたクラッドである。このクラッド2の外周に1次被覆層3が形成され、この1次被覆層3の外周に2次被覆層4が形成されている。1次被覆層3のヤング率は $0.15\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以下であることが好ましい。また、2次被覆層4のヤング率は $50\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上であることが好ましい。

【0034】

被覆層のそれぞれの主な役割は、ガラス表面に直接施した1次被覆層は緩衝材として、2次被覆層は光ファイバ強度を維持するためである。そのため、1次被覆層、2次被覆層は共に厚い方が望ましいが、厚くしてしまうと分散補償光ファイバを細径化して小型の分散補償光ファイバモジュールを提供するという目的を実現することができなくなってしまう。また、1次被覆層のヤング率が 0.15 kgf/mm^2 を超えると、外部の影響が直接光ファイバに影響を与えてしまい、マイクロバンド損失などが生じ、伝送損失を劣化させてしまう。さらに、2次被覆層のヤング率が 50 kgf/mm^2 未満では、光ファイバの強度を十分に保つことができない。これらの値は各層の厚みとも関係し、1次被覆層の厚さは $20 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$ であり、2次被覆層の厚さが $15 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$ であることが望ましいので、これらの関係を式で示すと、下記式(2)、(3)のようになり、ファイバ強度の観点から、これらの式の条件を満たした範囲のヤング率の樹脂を用いることが望ましい。

$$0.06 \times 10^{-3} \leq S_1 \times E_1 \leq 1.3 \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$0.3 \leq S_2 \times E_2 \leq 3.0 \quad (3)$$

ここで、 S_1 は1次被覆層の断面積 $[\text{mm}^2]$ 、 E_1 は1次被覆層のヤング率 $[\text{kgf/mm}^2]$ 、 S_2 は2次被覆層の断面積 $[\text{mm}^2]$ 、 E_2 は2次被覆層のヤング率 $[\text{kgf/mm}^2]$ である。

【0035】

この分散補償光ファイバは、クラッド2の外径を $80 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ とし、1次被覆層3と2次被覆層4とからなる被覆外径を $160 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$ とすることが好ましい。

【0036】

クラッド2の外径が $100 \mu\text{m}$ を超えると、必要な被覆厚を確保しようとする、必然的に被覆外径も太くなってしまい、小型モジュールを提供する目的と合わなくなる。一方、クラッド2の外径が $80 \mu\text{m}$ 未満では、クラッド厚が薄くなり過ぎて、マイクロバンドなどの影響を受け易くなり、損失特性が劣化する。被覆厚を厚くすることでその影響は低減することができるが、 $80 \mu\text{m}$ 未満では、

曲げ損失などの特性もさらに小さくする必要があり、曲げ損失とトレードオフの関係にある分散特性も劣化してしまう。そのため、クラッド2の外径は $80\mu\text{m}$ 以上が望ましい。

【0037】

また、分散の絶対値が大きくなることで使用するファイバの短尺化を図ることができ、モジュールの小型化も可能とはなるが、1次被覆層3と2次被覆層4とからなる被覆外径が $200\mu\text{m}$ を超える場合には、その効果は大きくない。一方、被覆外径が $160\mu\text{m}$ 未満では、1次被覆層、2次被覆層の被覆厚が薄くなり過ぎて、マイクロバンドなどの影響を受け易くなったり、光ファイバ自体の強度の劣化を生じてしまったりする。

【0038】

また、単に細径化した分散補償光ファイバを巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを作製すると、表面粘着性によりモジュール損失の温度特性が劣化するが、表面粘着性を 10gf/mm 以下、好ましくは 1gf/mm 以下にすることにより、小型コイルに巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを作製しても、通常使用される温度範囲（ $-5^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ ）において、モジュール損失の変動が $\pm 0.5\text{dB}$ 以下という安定した温度特性を有する分散補償光ファイバモジュールを実現することができる。

【0039】

この粘着性を低減させる方法としては、シリコン成分を $1\sim 5\text{wt}\%$ 含む紫外線硬化型樹脂を用いるか、紫外線硬化型樹脂の硬化時の雰囲気酸素濃度を 2% 以下、好ましくは 0% とすることである。

【0040】

このような構成とすることにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失やマイクロバンド特性に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現することが可能であり、小型コイルに巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを作製しても、通常使用される温度範囲（ $-5^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ ）において、モジュール損失の変動が $\pm 0.5\text{dB}$ 以下と

いう安定した温度特性を有する分散補償光ファイバモジュールを実現することができる。

【0041】

本発明の分散補償光ファイバの第2の例は、図1(a)、(b)に示すW型屈折率プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を1.5~3.5とし、コア半径を $4\mu\text{m}$ ~ $8\mu\text{m}$ とし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を+1.6%~+2.6%、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を-0.30%~-1.4%として形成されている。

【0042】

また、この例の分散補償光ファイバは、これらの構成に加えて以下のような特性値によって特定される。その特性値とは、 $1.53\mu\text{m}$ ~ $1.63\mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径20mmで巻いたときの曲げ損失が5dB/m以下、波長分散が -120ps/nm/km 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値が 200ps/nm/km 以上であり、かつ使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.53\mu\text{m}$ 以下であり、クラッド外径が $80\mu\text{m}$ ~ $100\mu\text{m}$ 、被覆外径が $160\mu\text{m}$ ~ $200\mu\text{m}$ であり、被覆樹脂表面の粘着性が 10gf/mm 以下、好ましくは 1gf/mm 以下となるようにすることである。

【0043】

このような構成とすることにより、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失や特にマイクロバンド特性に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現することができる。

【0044】

PMDについては、上述した第1と第2のいずれの例においても、 $0.3\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 以下とすることが好ましく、 $0.2\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 以下とすることがより好ましい。

【0045】

PMDとは、シングルモード光ファイバのコアの楕円化などによってモードの縮退が解け、2つの直交する偏波モード間に群遅延差が生じるために起こる分散であり、従来の通信速度では無視できていたためにあまり問題とされていなかったが、大容量光通信システムにおいては、伝送特性の劣化要因の1つとなっている。PMDの伝送距離制限は以下の式(4)で示すことができる。

$$B \cdot \text{PMD} \cdot \sqrt{L} < 100 \quad (4)$$

ここで、Bは伝送速度[Gb/s]であり、PMDは偏波モード分散[ps/√km]、Lはファイバ長[km]である。要求されるPMDの値は伝送速度、伝送距離により異なるが、伝送システム自体の将来のアップグレード(例えば伝送速度の向上など)を想定した場合、できる限り低くしておく必要がある。

【0046】

本発明の分散補償光ファイバの第3の例は、図1(a)、(b)に示すW型屈折率プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を1.5~3.5とし、コア半径を4μm~8μmとし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を+1.6%~+2.6%、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を-0.30%~-1.4%として形成されているか、または、図1(c)に示すリング付きW型プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を1.5~3.5とし、中間コア部半径に対するリングコア部半径の比 c/b を1.2~2.0とし、コア半径を4μm~8μmとし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を+1.6%~+2.6%、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を-0.30%~-1.4%、クラッド2に対するリングコア部1cの比屈折率差 $\Delta 3$ を+0.30%~+1.0%として形成されている。また、この例の分散補償光ファイバは、これらの特性値によって特定される。その特性値とは、1.53μm~1.57μmから選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径20mmで巻いたときの曲げ損失が5dB/m以下、波長分散が-120ps/nm/km以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値は200ps/nm/dB以上であり、使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が1.53μm以下であり、分散スロープを波長分散で割った値が0.0026nm⁻¹

$\sim 0.010 \text{ nm}^{-1}$ であり、クラッド外径が $80 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ 、被覆外径が $160 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$ であるようにすることである。

【0047】

このような分散補償光ファイバを用いることで、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失や特にマイクロバンドに起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、典型的に $1.55 \mu\text{m}$ で 0.0034 nm^{-1} の RDS を有する S-SMF や、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯で典型的な RDS として $0.007 \text{ nm}^{-1} \sim 0.010 \text{ nm}^{-1}$ の RDS を有する NZ-DSF 用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

【0048】

本発明の分散補償光ファイバの第4の例は、図1(a)、(b)に示すW型屈折率プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を $1.5 \sim 3.5$ とし、コア半径を $4 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}$ とし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を $+1.6\% \sim +2.6\%$ 、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を $-0.30\% \sim -1.4\%$ として形成されているか、または、図1(c)に示すリング付きW型プロファイルにおいて、中心コア部半径に対する中間コア部半径の比 b/a を $1.5 \sim 3.5$ とし、中間コア部半径に対するリングコア部半径の比 c/b を $1.2 \sim 2.0$ とし、コア半径を $4 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}$ とし、クラッド2に対する中心コア部1aの比屈折率差 $\Delta 1$ を $+1.6\% \sim +2.6\%$ 、クラッド2に対する中間コア部1bの比屈折率差 $\Delta 2$ を $-0.30\% \sim -1.4\%$ 、クラッド2に対するリングコア部1cの比屈折率差 $\Delta 3$ を $+0.30\% \sim +1.0\%$ として形成されている。また、この例の分散補償光ファイバは、これらの特性値によって特定される。その特性値とは、 $1.57 \mu\text{m} \sim 1.63 \mu\text{m}$ から選択された少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径 20 mm で巻いたときの曲げ損失が 5 dB/m 以下、波長分散が -120 ps/nm/km 以下、単位損失当たりの波長分散の絶対値が 200 ps/nm/km 以上であり、使用する長さおよび使用する状態でのカットオフ波長が $1.57 \mu\text{m}$ 以下であり、分散スロープを波長分散で割った値が 0.0022 nm^{-1}

$\sim 0.010 \text{ nm}^{-1}$ であり、クラッド外径が $80 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ 、被覆外径が $160 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$ であるようにすることである。

【0049】

このような分散補償光ファイバを用いることで、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、かつ $1.57 \mu\text{m} \sim 1.63 \mu\text{m}$ におけるRDSが $0.0022 \text{ nm}^{-1} \sim 0.010 \text{ nm}^{-1}$ であるため、典型的に $1.59 \mu\text{m}$ で 0.0029 nm^{-1} のRDSを有するS-SMFや、 $1.59 \mu\text{m}$ 帯で数 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 前後の波長分散を有し、典型的なRDSとして $0.005 \text{ nm}^{-1} \sim 0.010 \text{ nm}^{-1}$ のRDSを有するNZ-DSF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。

【0050】

また、上述の分散補償光ファイバを 30 g から 50 g の間の巻き張力で最小胴径 90 mm 以下のリールに巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを形成することにより、巻き崩れによるモジュール損失の劣化や、PMDの劣化を防ぐことができ、また、マイクロベンドによるモジュール損失の劣化を低減することができるので、振動衝撃や温度変動に対して安定した特性を有する小型の分散補償光ファイバモジュールを実現することができる。

【0051】

以下、具体例な試験例を示す。

(試験例1)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(b)のようなW型プロファイルや、図1(c)のようなリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径、クラッド外径、1次被覆外径、2次被覆外径は表1に示す値となるようにし、紡糸時に紫外線硬化型樹脂の硬化時の雰囲気酸素濃度を 0.1% 以下(表示値 0.0%)となる条件で製造した。

なお、No. 1の分散補償光ファイバは、比較のために従来のクラッド外径、

被覆構造にて製造したものであり、No. 2～No. 6の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例である。

【0052】

【表1】

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
1	1.70	-0.40	0.35	3.5	1.4	6.7	125	200	250	0.1
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
3	2.00	-0.72	0.36	2.7	1.5	6.4	80	125	165	0.1
4	2.60	-1.40	—	2.0	—	4.4	100	140	180	0.1
5	2.40	-1.30	—	2.0	—	4.7	100	160	200	0.1
6	2.20	-0.70	—	2.5	—	5.7	100	130	160	0.1

【0053】

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表2に示す。

これらの分散補償光ファイバは、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半

径を表1に示す値とすることによって、光ファイバ単位長さ当りの波長分散の絶対値を大きくし、曲げ損失を小さくすることができた。また、外径 $80\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ のクラッドの外周に、ヤング率が 0.15kgf/mm^2 以下の1次被覆層と、ヤング率が 50kgf/mm^2 以上の2次被覆層を形成した。

この分散補償光ファイバの被覆外径は $160\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ と細いので、小型モジュール化が可能である。また、これらの分散補償光ファイバを 40g の巻き張力で胴径 80mm の小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き $1.3\mu\text{m}$ 帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの光学特性とモジュールサイズを表3に示す。これらの分散補償光ファイバモジュールはS-SMF100km補償用である。

【0054】

【表2】

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
1	1.55	0.35	-91	260	0.08	0.4
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
3	1.55	0.52	-148	285	0.08	0.2
4	1.55	0.65	-214	329	0.22	1.0
5	1.55	0.62	-157	253	0.12	0.8
6	1.55	0.50	-147	294	0.08	3.3

【0055】

【表 3】

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)		体積比*
1	モジュール1	8.0	-1700	230	230	45
2	モジュール2	7.4	-1710	215	215	21
3	モジュール3	6.8	-1703	190	190	21
4	モジュール4	7.0	-1650	170	170	21
5	モジュール5	6.9	-1700	205	205	21
6	モジュール6	6.8	-1703	178	178	21

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

【0056】

表3から、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、曲げ損失に起因する損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて体積比で50%以下の小さなモジュールに収納することが可能な分散補償光ファイバを実現していることが分かる。

【0057】

(試験例2)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(c)のようないリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを4種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径は表4に示す値となるようにし、紡糸時に紫外線硬化型樹脂の硬化時の雰囲気酸素濃度を0.1%以下（表示値0.0%）となる条件で製造した。

なお、No. 7～No. 9の分散補償光ファイバは、比較のために従来の分散特性を有するように製造したものであり、No. 2の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例である。

【0058】

【表4】

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
7	1.60	-0.35	0.30	2.7	1.5	5.3	90	135	175	0.1
8	1.60	-0.30	0.30	2.7	1.5	5.2	90	135	175	0.1
9	1.50	-0.30	0.30	2.7	1.5	5.6	90	135	175	0.1

【0059】

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表5に示す。

これらの分散補償光ファイバは、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径を表4に示す値とすることによって、曲げ損失は変化させずに波長分散の値を変化させた。クラッド外径、1次被覆層のヤング率と厚さ、2次被覆層のヤング

率と厚さは同一である。

これらの分散補償光ファイバを40gの巻き張力で胴径80mmの小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き1.3 μ m帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化した。モジュール分散はS-SMF100km補償用に相当する-1700ps/nmである。作製したときの分散補償光ファイバモジュールの光学特性とモジュールサイズを表6に示す。

【0060】

【表5】

No.	波長 (μ m)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ \sqrt km)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
7	1.55	0.42	-90	214	0.07	5.0
8	1.55	0.38	-83	218	0.12	2.8
9	1.55	0.33	-77	233	0.15	1.1

【0061】

【表 6】

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
2	モジュール2	7.4	-1700	205	205	21	37
7	モジュール7	8.9	-1700	230	230	21	47
8	モジュール8	8.8	-1700	240	240	21	51
9	モジュール9	8.3	-1700	245	245	21	53

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

【0062】

表 6 から、波長分散が -90 ps/nm/km の分散補償光ファイバ No. 7 を用いた分散補償光ファイバモジュールは従来のモジュールに対して体積比で 47% であり、 -83 ps/nm/km の分散補償光ファイバ No. 8 や、 -77 ps/nm/km の分散補償光ファイバ No. 9 を用いた分散補償光ファイバモジュール No. 8 や No. 9 は、従来のモジュールに対して体積比で 50% 以上であり、小型化が不十分であることが分かる。これらの結果から波長分散の絶対

値は少なくとも 120 ps/nm 以上 (-120 ps/nm/km 以下) が必要であることが分かる。

【0063】

(試験例3)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(b)のようなW型プロファイルや、図1(c)のようなリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを5種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径、クラッド外径、1次被覆外径、2次被覆外径は表7に示す値となるようにし、紡糸時に紫外線硬化型樹脂の硬化時の雰囲気酸素濃度を0.1%以下(表示値0.0%)となる条件で製造した。

なお、No. 12、No. 13の分散補償光ファイバは、比較のために従来の曲げ損失にて製造したものであり、No. 2、No. 10、No. 11の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例である。

【0064】

【表7】

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
10	1.90	-0.38	0.35	3.5	1.4	6.5	90	135	175	0.1
11	1.70	-0.45	0.35	3.3	1.5	6.6	90	135	175	0.1
12	1.95	-0.35	0.40	2.7	1.5	4.5	90	135	175	0.1
13	2.20	-0.70	—	2.5	—	5.6	90	135	175	0.1

【0065】

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表8に示す。

これらの分散補償光ファイバは、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径を表8に示す値とすることによって、曲げ損失を変化させて作製した。クラッド外径、1次被覆層のヤング率と厚さ、2次被覆層のヤング率と厚さは同一である。

これらの分散補償光ファイバを40gの巻き張力で胴径80mmの小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き1.3 μ m帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの光学特性を表9に示す。

また、これらのモジュールの損失波長特性を図5に、モジュール損失の温度特性を図6に示す。

【0066】

【表8】

No.	波長 (μ m)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ \sqrt km)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
10	1.55	0.40	-125	313	0.08	2.8
11	1.55	0.40	-128	320	0.08	4.4
12	1.55	0.42	-123	293	0.12	5.2
13	1.55	0.50	-160	320	0.10	11.6

【0067】

【表9】

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
2	モジュール2	7.4	-1700	205	205	21	37
10	モジュール10	6.4	-1700	205	205	21	37
11	モジュール11	6.8	-1703	200	200	21	35
12	モジュール12	7.0	-1700	230	230	21	47
13	モジュール13	6.9	-1700	185	185	21	30

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュールに対する体積比

【0068】

表9では、モジュール損失は同等であるが、図5より曲げ損失が大きくなると長波長側に急激な損失増があり、曲げ損失が5 dB/mを超えると、使用波長範囲内において大きな損失があることが分かる。このような損失劣化があっても使用する波長範囲を限定することにより、モジュールとして使用することは可能であるが、5 dB/mを超えると損失劣化が大きくなり過ぎてしまい使用することはできない。

さらに、図6より、曲げ損失の大きな分散補償光ファイバモジュールのモジュール損失の温度特性は曲げ損失の増大と共に劣化していることが分かる。これらのことから、本発明の分散補償光ファイバの曲げ損失は5 dB/m以下である必要がある。

【0069】

(試験例4)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(c)のようなリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを6種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径は表10に示す値となるように製造した。このとき、クラッド外径を60 μm ~110 μm まで変化させた。1次被覆層、2次被覆層はそれぞれ22.5 μm 、20 μm で一定とした。屈折率分布パラメータと共に表10に示す。

なお、No. 14、No. 15、No. 19の分散補償光ファイバは、比較のために製造したものであり、No. 2、No. 16~No. 18の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例である。

【0070】

【表 10】

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
14	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	60	105	145	0.1
15	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	70	115	155	0.1
16	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	80	125	165	0.1
17	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
18	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	100	145	185	0.1
19	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	110	155	195	0.1

【0071】

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表 11 に示す。同一の光学特性を示している。

これらの分散補償光ファイバを 40 g の巻き張力で胴径 80 mm の小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き 1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの特性を

表 1 2 に示す。また、これらのモジュール損失波長特性を図 7 に示す。

【0072】

【表 1 1】

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
14	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
15	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
16	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
17	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
18	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
19	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0

【0073】

【表 12】

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
2	モジュール2	7.4	-1700	205	205	21	42
14	モジュール14	8.5	-1700	190	190	21	32
15	モジュール15	8.1	-1700	200	200	21	35
16	モジュール16	7.6	-1700	210	210	21	39
17	モジュール17	7.4	-1700	205	205	21	42
18	モジュール18	7.4	-1700	230	230	21	47
19	モジュール19	7.4	-1700	240	240	21	51

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

【0074】

表12から、胴径80mmの小型リールに巻き込んだ場合、No. 14とNo. 15の分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールは、従来のモジュールに比べて小型化されているが、モジュール損失が劣化していることが分かる。また、図7より、特に長波長側の損失劣化が顕著であることが分かる。クラッド外径が100 μ mを超えたNo. 18の分散補償光ファイバを用いた時の分散補償光ファイバモジュールは、モジュール損失は劣化していないが、小型

化が十分でないことが分かる。

これらのことから、クラッド外径は $80\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ が望ましいことが分かる。

【0075】

(試験例5)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(c)のようなリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを5種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア径、クラッド径、1次被覆層のヤング率と厚さ、2次被覆層のヤング率と厚さは表13に示す値となるように一定で製造した。表面粘着性は、紡糸時に紫外線硬化型樹脂の硬化時の雰囲気酸素濃度を0.1%以下～数%まで変化させることによって0.1～12gf/mmまで変化させた。

なお、No. 2、No. 20～No. 22の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例であり、No. 23の分散補償光ファイバは、比較のために製造したものである。

【0076】

【表13】

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
20	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.3
21	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	3
22	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	9
23	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	12

【0077】

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表14に示す。

これらの分散補償光ファイバは、表面粘着性のみ異なり、その他の光学特性は同一であった。

これらの分散補償光ファイバを40gの巻き張力で胴径80mmの小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファ

イバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの光学特性およびモジュールサイズを表15に示す。また、これらのモジュールのモジュール損失の温度特性を図8に示す。

【0078】

【表14】

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
20	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
21	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
22	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
23	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0

【0079】

【表15】

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
2	モジュール2	7.4	-1700	215	215	21	41
20	モジュール20	7.4	-1700	215	215	21	41
21	モジュール21	7.4	-1700	215	215	21	41
22	モジュール22	7.4	-1700	215	215	21	41
23	モジュール23	7.4	-1700	215	215	21	41

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュールに対する体積比

【0080】

表15より、光学特性、モジュールサイズは同一であることが分かる。しかし、図8より、表面粘着性の値が大きくなるにしたがって、低温時のモジュール損失の劣化が大きくなることが分かる。分散補償光ファイバモジュールは環境温度の変化に対しても安定した光学特性を有する必要がある。一般的には、使用温度範囲として $-5^{\circ}\text{C} \sim +75^{\circ}\text{C}$ の範囲でモジュール損失の変動が $\pm 0.5 \text{ dB}$ 以下

の変化であることが求められる。これらのことから、表面粘着性は 10 gf/mm 以下、好ましくは 1 gf/mm 以下であることが必要であるということが分かる。

【0081】

(試験例6)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(c)のようなリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径は表16に示す値となるように製造した。このとき、クラッド外径は一定としたが、各層の被覆層の厚さ、およびヤング率を変化させた。

なお、No. 2、No. 24およびNo. 28の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例であり、No. 25～No. 27、No. 29～No. 32の分散補償光ファイバは、比較のための従来の構造のものである。

【0082】

【表16】

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	一次被覆 被覆厚 (μm)	一次被覆層 ヤング率 (kgf/mm ²)	二次被覆 外径 (μm)	二次被覆 被覆厚 (μm)	二次被覆層 ヤング率 (kgf/mm ²)
2	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.068	175	20	75
24	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.15	175	20	75
25	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.20	175	20	75
26	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.068	175	20	30
27	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.068	175	20	40
28	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	130	20	0.068	170	20	75
29	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	125	17.5	0.068	165	20	75
30	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	120	15	0.068	160	20	75
31	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.068	160	12.5	75
32	2.00	-0.46	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	22.5	0.068	155	10	75

【0083】

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表17に示す。

これらの分散補償光ファイバは、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径が一定であるため、光学特性は同一であった。

ここで、これらの分散補償光ファイバをモジュール化する前に、スクリーニング試験を行った。スクリーニング試験とは、光ファイバに対して一定の伸び歪を光ファイバの長手方向に加えて、低強度部分を除去する試験のことである。分散補償光ファイバモジュールの信頼性試験を確保するために、使用する分散補償光ファイバには一定以上の強度が要求される。1%の伸び歪を1秒間加える試験を行ったところ、No. 26、27、31、32は数百mで断線してしまい、モジュールを作製するのに十分な長さ（例えば10km以上程度）を得ることが出来なかった。これは、No. 26、27では2次被覆層のヤング率が低く、また、No. 31、32では、2次被覆層の厚さが薄く、共に伸び歪に耐えられる強度が不足していたためである。

スクリーニング試験により必要なファイバ長が得られたNo. 2、24、25、28、29、30の分散補償光ファイバを40gの巻き張力で胴径80mmの小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き1.3 μ m帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの光学特性、およびモジュールサイズを表18に示す。また、これらのモジュールの損失波長特性を図9に示す。

【0084】

【表 17】

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
24	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
25	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
26	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
27	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
28	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
29	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
30	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
31	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0
32	1.55	0.45	-120	267	0.08	1.0

【0085】

【表18】

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)
2	モジュール2	7.4	-1700
24	モジュール24	8.0	-1700
25	モジュール25	8.0	-1700
26	モジュール26	—	—
27	モジュール27	—	—
28	モジュール28	8.0	-1700
29	モジュール29	8.2	-1700
30	モジュール30	8.2	-1700
31	モジュール31	—	—
32	モジュール32	—	—

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

【0086】

表18から、1.55 μ mでは大きな損失劣化がないことが分かるが、図9から、No.25、29、30の分散補償光ファイバを用いたモジュールでは長波長側でモジュール損失が劣化していることが分かる。これは、No.25では緩衝層の役割を果たす1次被覆層のヤング率が高いために、また、No.29、30では、1次被覆層の厚みが薄いために側圧の影響がクラッドを介してコア部まで達してしまい、損失が劣化したからである。

これらのことから、1次被覆層のヤング率は0.15kgf/mm²以下であり、1次被覆層の厚さは20 μ m～30 μ mであり、2次被覆層のヤング率は50kgf/mm²以上であり、2次被覆層の厚さは15 μ m～30 μ mであることが必要であるということが分かる。

【0087】

(試験例7)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(b)のようなW型プロファイルや図1(c)のようなリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを7種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径は表19に示す値となるように製造した。

なお、No. 2、No. 33～No. 37の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例であり、No. 38およびNo. 39の分散補償光ファイバは、比較のために製造したものである。

【0088】

【表 19】

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
2	2.00	-0.43	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
33	2.00	-0.72	0.36	2.7	1.5	6.4	80	125	165	0.1
34	2.60	-1.40	—	2.0	—	4.4	100	140	180	0.1
35	1.70	-0.40	0.35	3.5	1.4	6.7	90	135	175	0.2
36	1.70	-0.38	0.35	3.5	1.4	6.5	90	135	175	0.2
37	1.70	-0.45	0.35	3.3	1.5	6.6	90	135	175	0.2
38	2.00	-0.45	—	3.0	—	6.7	90	135	175	0.1
39	1.90	-1.40	0.45	2.7	1.5	5.8	90	135	175	0.1

【0089】

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表 20 に示す。

分散スロープ補償の性能を示す指標である RDS の値は、 0.0017 nm^{-1} ~ 0.0107 nm^{-1} であった。No. 33 の分散補償光ファイバは、NZ-DSF の波長分散補償光ファイバを補償する分散補償光ファイバである。これらの分散補償光ファイバを 40 g の巻き張力で胴径 80 mm の小型リールに巻き

込み、その両端にコネクタ付き 1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの特性を表 2 1 に示す。また、No. 2、3 4、3 5、3 8、3 9 の分散補償光ファイバを用いて作製した分散補償光ファイバモジュールを用いて分散補償を行ったときの分散曲線を図 1 0 に示す。

【 0 0 9 0 】

【表 20】

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	分散 スロープ (ps/nm ² /km)	RDS (nm ⁻¹)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2	1.55	0.45	-120	-0.41	0.0034	267	0.08	1.0
33	1.55	0.52	-148	-1.00	0.0068	285	0.08	0.2
34	1.55	0.65	-214	-0.59	0.0028	329	0.22	1.0
35	1.55	0.35	-125	-0.45	0.0036	357	0.06	0.4
36	1.55	0.33	-128	-0.29	0.0023	388	0.08	2.8
37	1.55	0.40	-128	-0.38	0.0030	320	0.08	4.4
38	1.55	0.42	-123	-0.21	0.0017	293	0.08	4.9
39	1.55	0.52	-123	-1.32	0.0107	237	0.12	2.1

【0091】

【表 21】

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比* (%)
2	モジュール2	7.4	-1710	205	205	21	42
33	モジュール33	6.8	-1703	180	180	21	29
34	モジュール34	7.0	-1650	170	170	21	25
35	モジュール35	8.0	-1710	200	200	21	35
36	モジュール36	6.8	-1703	200	200	21	35
37	モジュール37	6.8	-1703	200	200	21	35
38	モジュール38	7.5	-1720	200	200	21	35
39	モジュール39	8.2	-1720	200	200	21	35

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

【0092】

図10から、RDSの小さなNo. 38やRDSの大きなNo. 39では、使用波長帯の両端では残留分散が大きく、S-SMFの伝送距離が長くなると高速伝送を行うには残留分散が障害になることが分かる。

【0093】

(試験例 8)

VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法により、図1(b)のようなW型プロファイルや図1(c)のようなリング付きW型プロファイルの分散補償光ファイバを7種類作製した。このときの $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 b/a 、 c/b 、コア半径は表22に示す値となるように製造した。

なお、No. 40～No. 45の分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの実施例であり、No. 46、No. 47の分散補償光ファイバは、比較のために製造したものである。

【0094】

【表22】

No.	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	b/a	c/b	コア半径 (μm)	クラッド 外径 (μm)	一次被覆 外径 (μm)	二次被覆 外径 (μm)	表面 粘着性 (gf/mm)
40	2.00	-0.43	0.36	2.7	1.5	6.4	90	135	175	0.1
41	2.00	-0.72	0.36	2.7	1.5	6.4	80	125	165	0.1
42	2.60	-1.40	—	2.0	—	4.4	100	140	180	0.1
43	1.70	-0.40	0.35	3.5	1.4	6.7	90	135	175	0.2
44	1.70	-0.38	0.35	3.5	1.4	6.5	90	135	175	0.2
45	1.70	-0.45	0.35	3.3	1.5	6.6	90	135	175	0.3
46	2.00	-0.45	0.30	3.0	1.5	5.5	90	135	175	0.2
47	1.90	-1.40	0.55	2.9	1.5	5.5	90	135	175	0.2

【0095】

これらの分散補償光ファイバの光学特性を表23に示す。

これらの分散補償光ファイバは伝送ファイバのL-band（波長1.565 μm ～1.625 μm ）における残留分散を補償するためのファイバであるので、測定波長は1.59 μm とした。分散スロープ補償の性能を示す指標であるR

DSの値は、 $0.0010\text{ nm}^{-1} \sim 0.0133\text{ nm}^{-1}$ であった。No. 41の分散補償光ファイバは、NZ-DSFの波長分散補償光ファイバを補償する分散補償光ファイバである。

これらの分散補償光ファイバを40gの巻き張力で胴径80mmの小型リールに巻き込み、その両端にコネクタ付き1.3 μm 帯零分散シングルモード光ファイバを接続してモジュール化したときの分散補償光ファイバモジュールの特性を表24に示す。また、No. 42、44、45、46、47の分散補償光ファイバを用いて作製した分散補償光ファイバモジュールを用いて分散補償を行ったときの分散曲線を図11に示す。

【0096】

【表 23】

No.	波長 (μm)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	分散 スロープ (ps/nm ² /km)	RDS (nm ⁻¹)	性能指数 (ps/nm/dB)	PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
40	1.59	0.45	-128	-0.28	0.0022	284	0.12	1.0
41	1.59	0.52	-148	-1.00	0.0068	285	0.10	0.2
42	1.59	0.65	-214	-0.59	0.0028	329	0.10	1.0
43	1.59	0.35	-123	-0.29	0.0024	351	0.08	0.4
44	1.59	0.33	-125	-0.29	0.0023	379	0.08	2.8
45	1.59	0.40	-128	-0.38	0.0030	320	0.12	4.4
46	1.59	0.40	-120	-0.12	0.0010	300	0.07	4.4
47	1.59	0.40	-123	-1.63	0.0133	308	0.07	4.0

【0097】

【表 24】

No.	モジュールNo.	モジュール 損失 (dB)	モジュール 分散 (ps/nm)	収納可能なモジュールサイズ (横×奥行×高さ) (mm)			体積比*
40	モジュール40	8.0	-1710	200	200	21	35
41	モジュール41	6.8	-1703	180	180	21	29
42	モジュール42	7.0	-1650	170	170	21	25
43	モジュール43	8.0	-1710	200	200	21	35
44	モジュール44	6.8	-1703	200	200	21	35
45	モジュール45	6.8	-1703	200	200	21	35
46	モジュール46	6.8	-1703	200	200	21	35
47	モジュール47	6.8	-1703	200	200	21	35

*従来の分散補償光ファイバを用いたモジュール1に対する体積比

【0098】

図11から、RDSの小さなNo. 46やRDSの大きなNo. 47では、使用波長帯の両端では残留分散が大きく、S-SMFの伝送距離が長くなると、高速伝送を行うには残留分散が障害になることが分かる。

【0099】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、小型リールに巻き込んでも、モジュール損失が低く、低PMDであり、曲げ損失に起因する損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、かつS-SMFやNZ-DSF用に適した分散補償光ファイバを実現することができる。特に、マイクロバンド特性に起因する長波長側に顕著な損失増もなく、従来の分散補償光ファイバモジュールに比べて小さなモジュールに収納することが可能であり、通常使用される温度範囲（ $-5^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ ）においてモジュール損失が $\pm 0.5\text{ dB}$ 以下という安定した温度特性を有する分散補償光ファイバモジュールを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の分散補償光ファイバの屈折率分布の一例を示す図である。

【図2】 本発明の分散補償光ファイバの被覆層の構造を示す断面図である。

【図3】 伝送速度と許容される波長分散の関係を示すグラフである。

【図4】 伝送用光ファイバ、分散補償光ファイバおよび分散補償後の残留分散特性を示すグラフである。

【図5】 曲げ損失を変化させた分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールの損失波長特性を示すグラフである。

【図6】 曲げ損失を変化させた分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールのモジュール損失の温度特性を示すグラフである。

【図7】 クラッド外径を変化させた分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールのモジュール損失波長特性を示すグラフである。

【図8】 表面粘着性を変化させた分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールのモジュール損失の温度特性を示すグラフである。

【図9】 被覆層のヤング率、被覆厚を変化させた分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールの損失波長特性を示すグラフである。

【図10】 RDSの異なる分散補償光ファイバモジュールにより、S-S

MF 1 0 0 k m の累積波長分散を補償したときの残留分散特性を示すグラフである。

【図 1 1】 R D S の異なる分散補償光ファイバモジュールにより、S - S MF 1 0 0 k m の累積波長分散を補償したときの残留分散特性を示すグラフである。

【符号の説明】

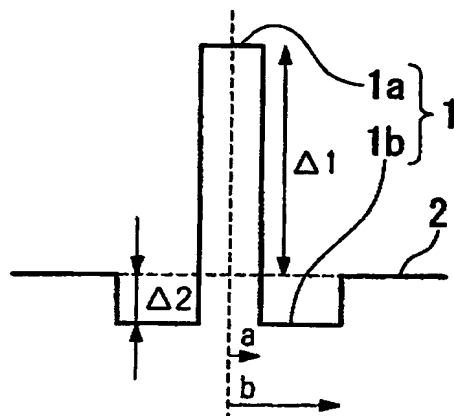
1 … コア、1 a … 中心コア部、1 b … 中間コア部、1 c … リングコア部、2 … クラッド、3 … 1 次被覆層、4 … 2 次被覆層。

【書類名】

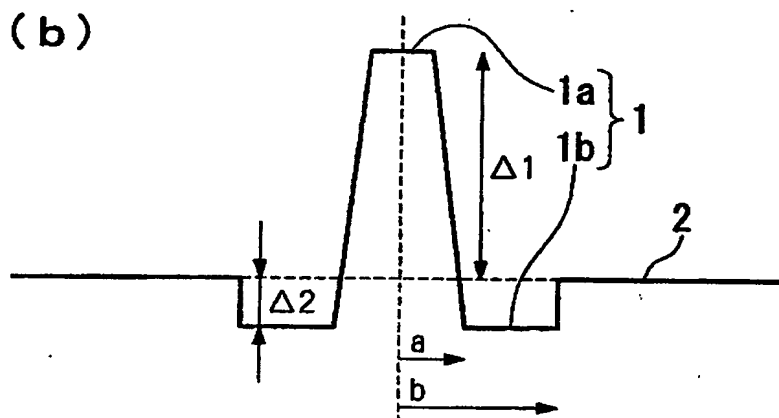
図面

【図 1】

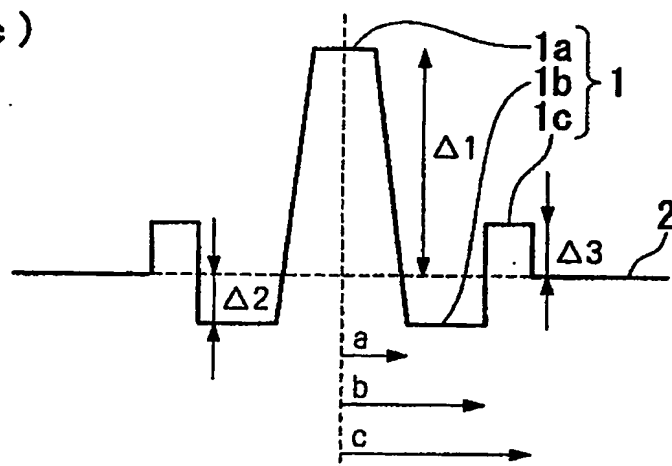
(a)



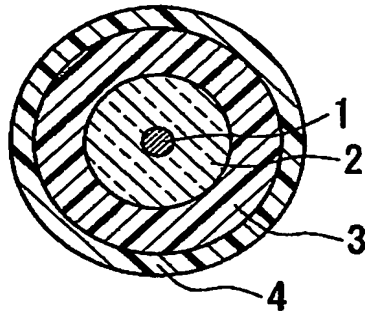
(b)



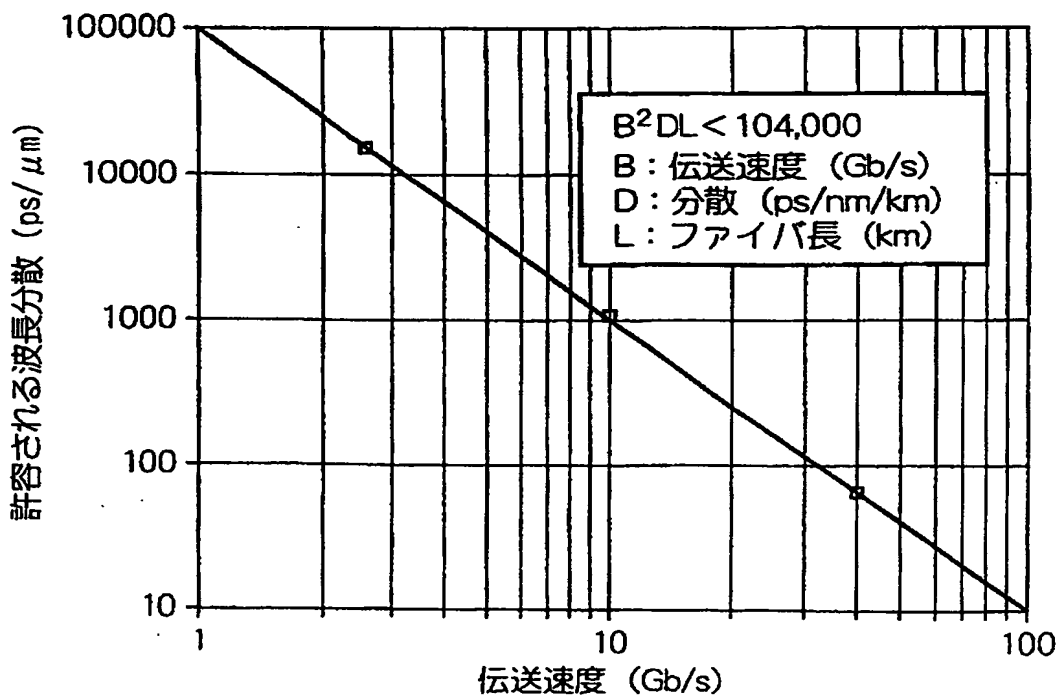
(c)



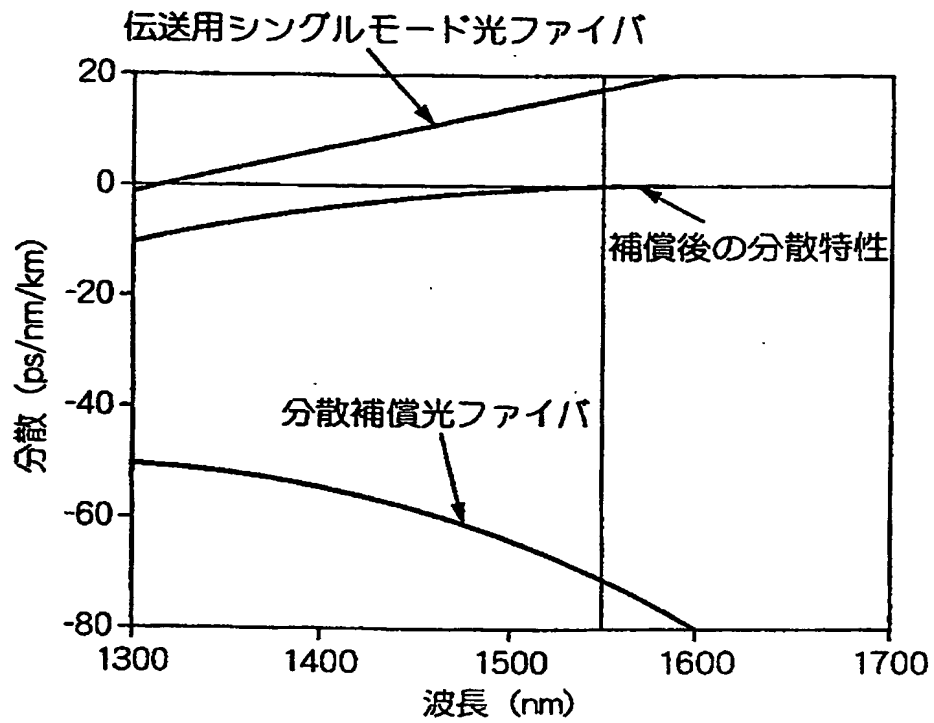
【図 2】



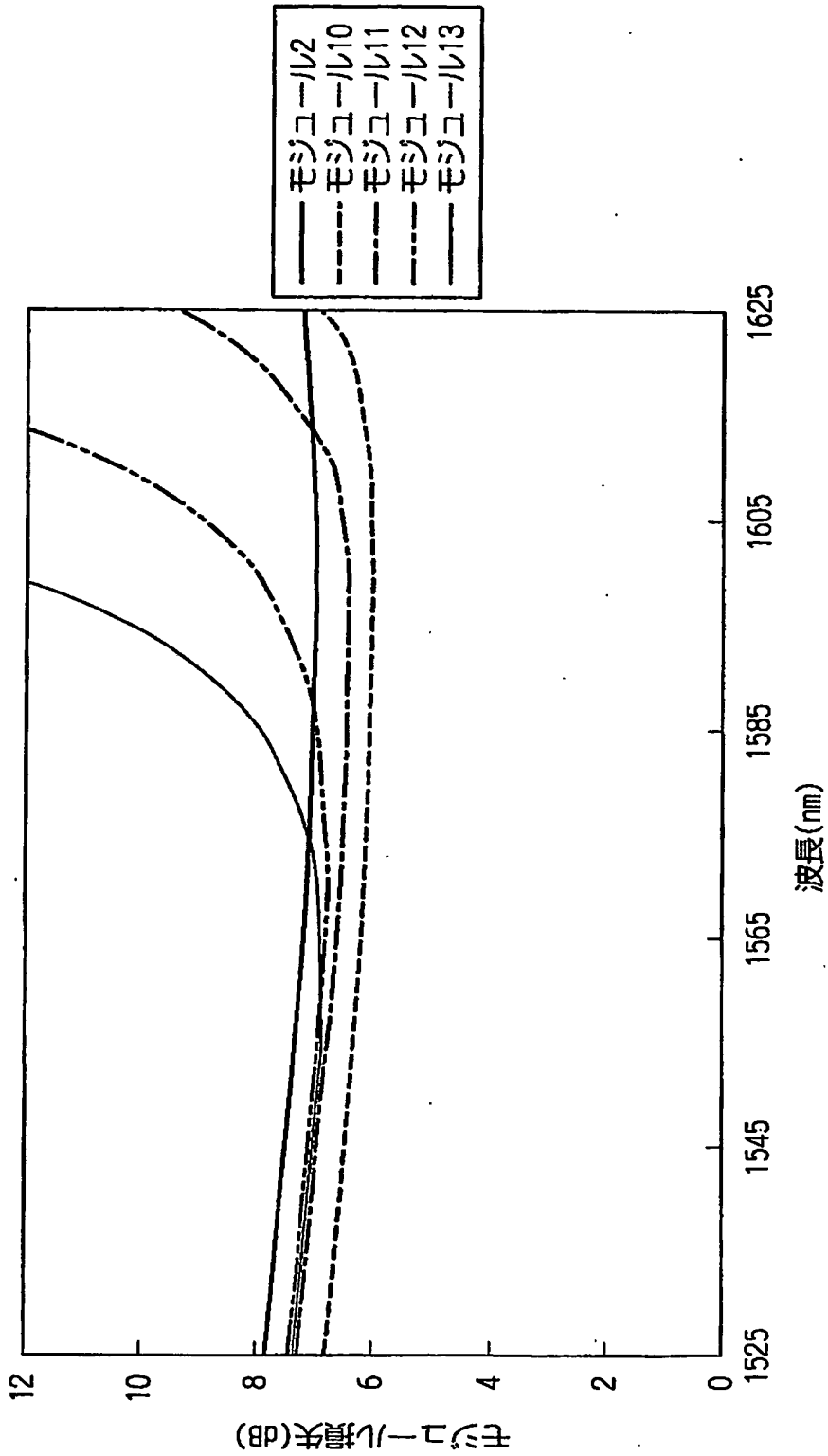
【図 3】



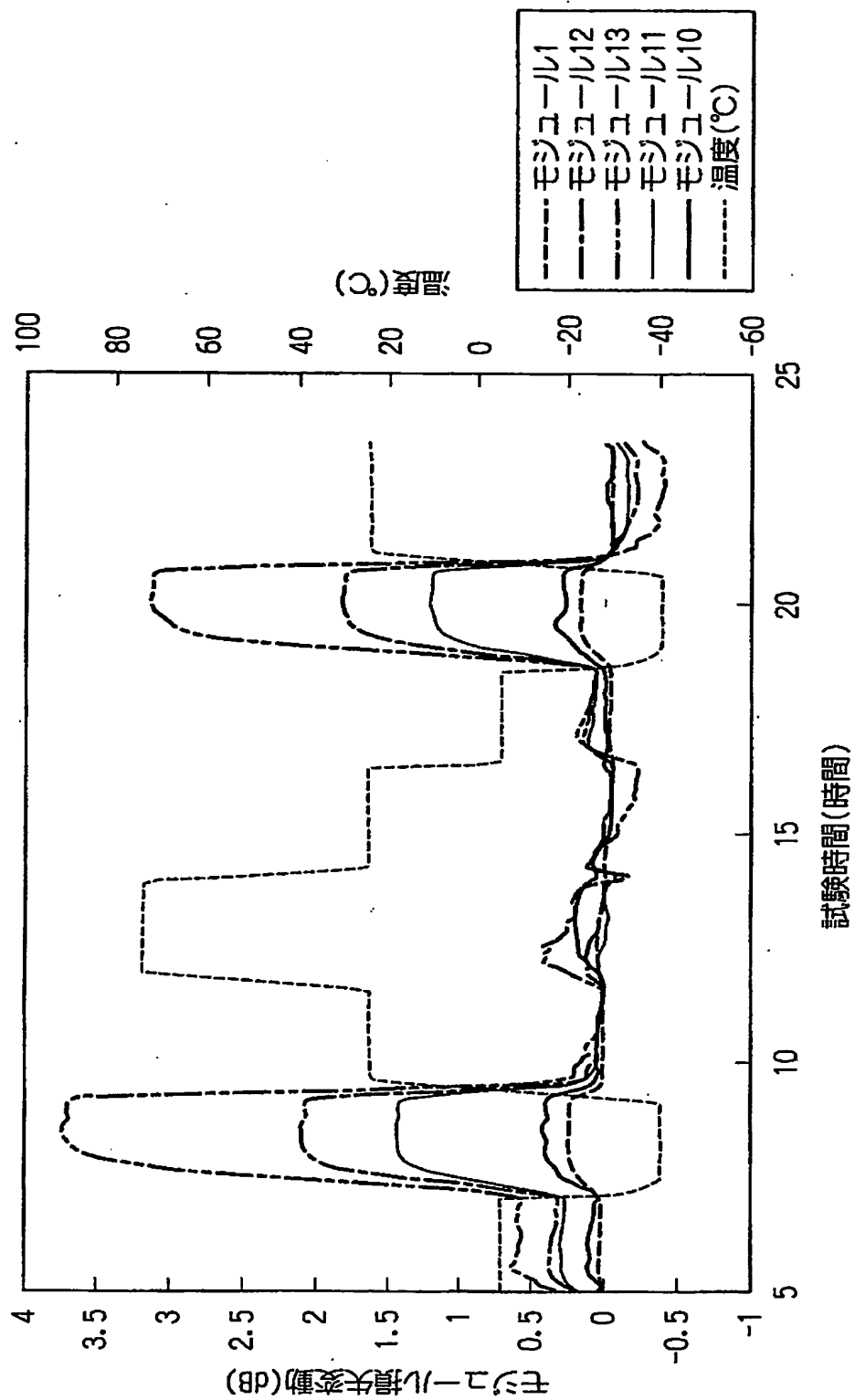
【図4】



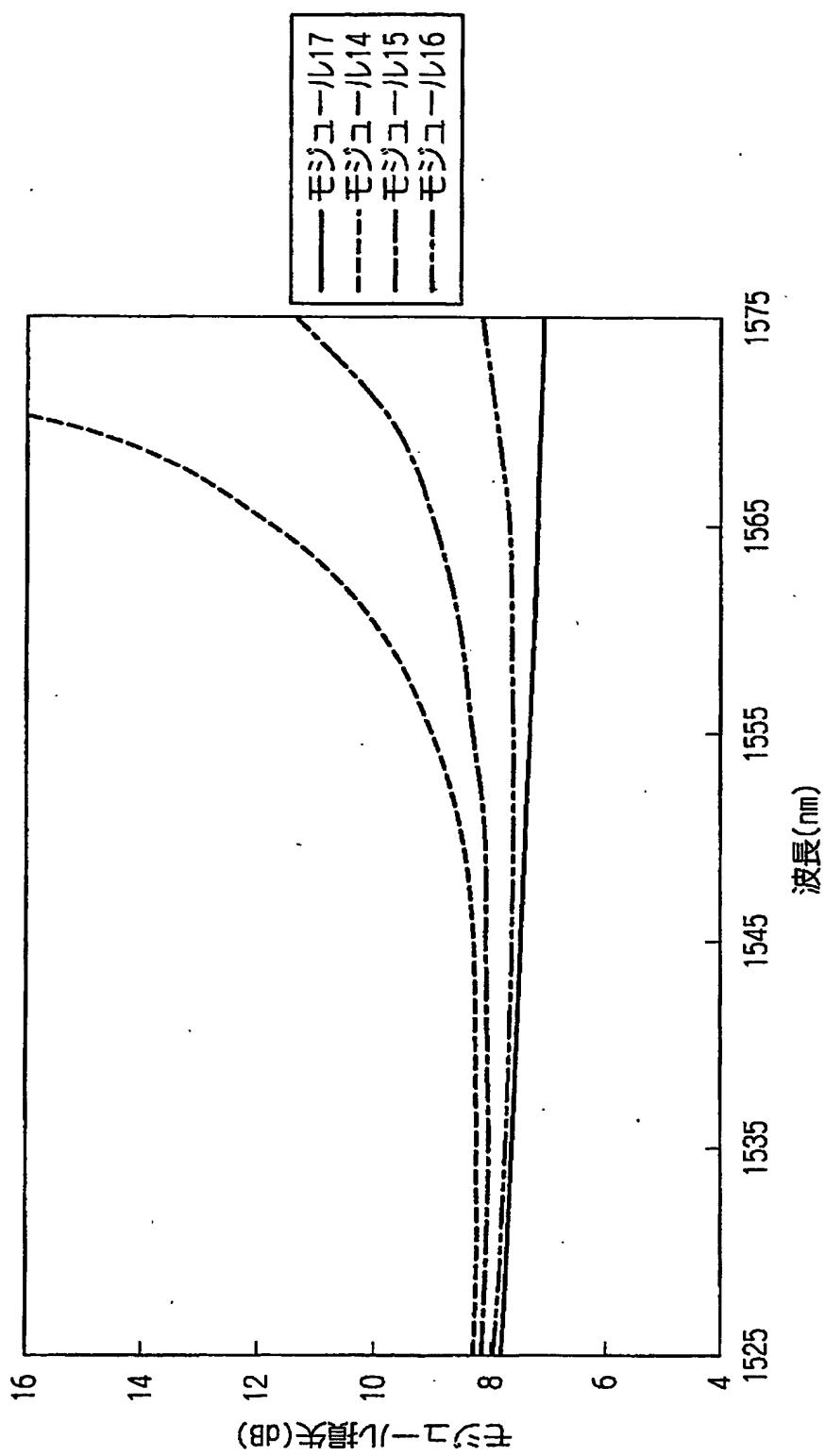
【図5】



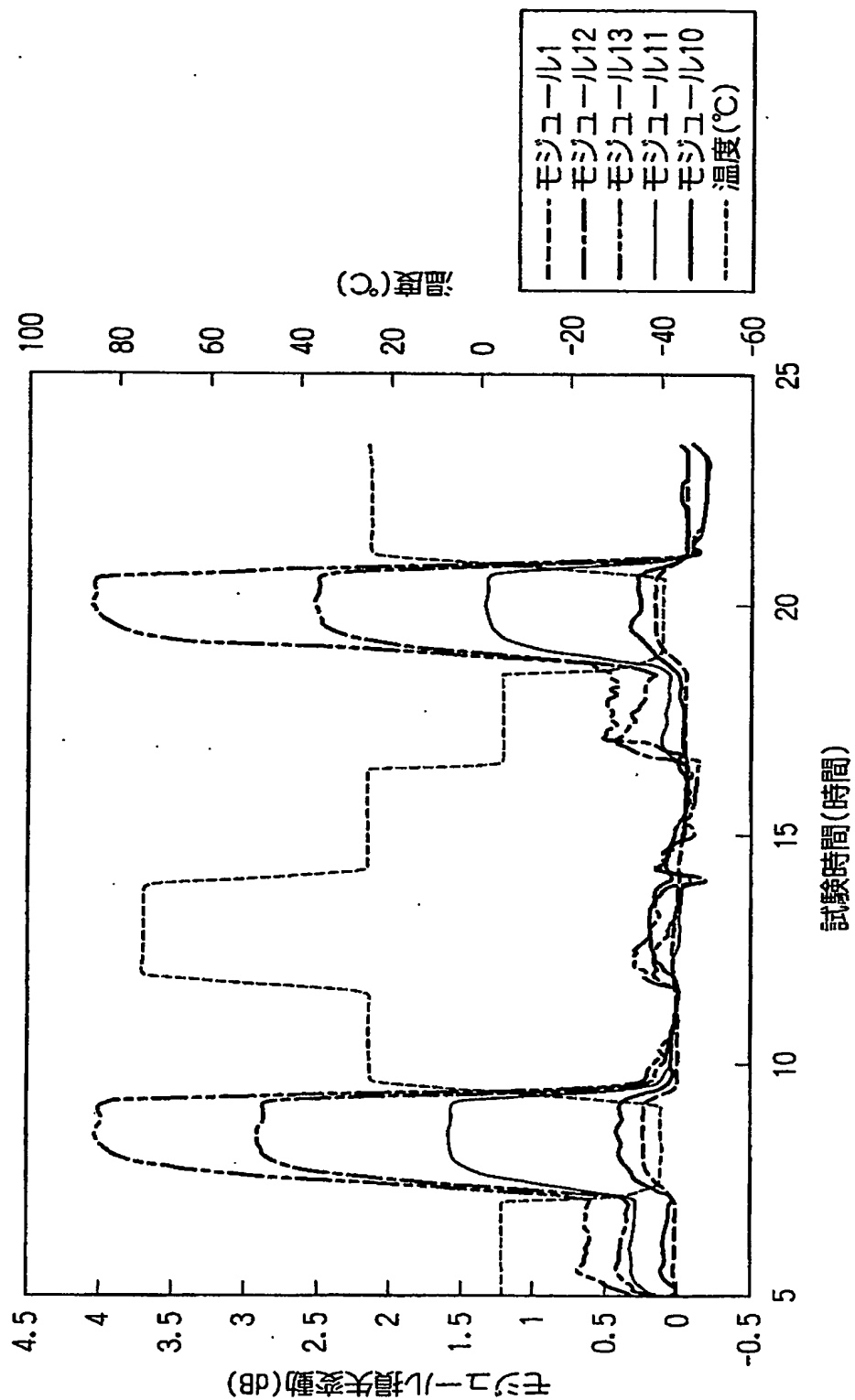
【図6】



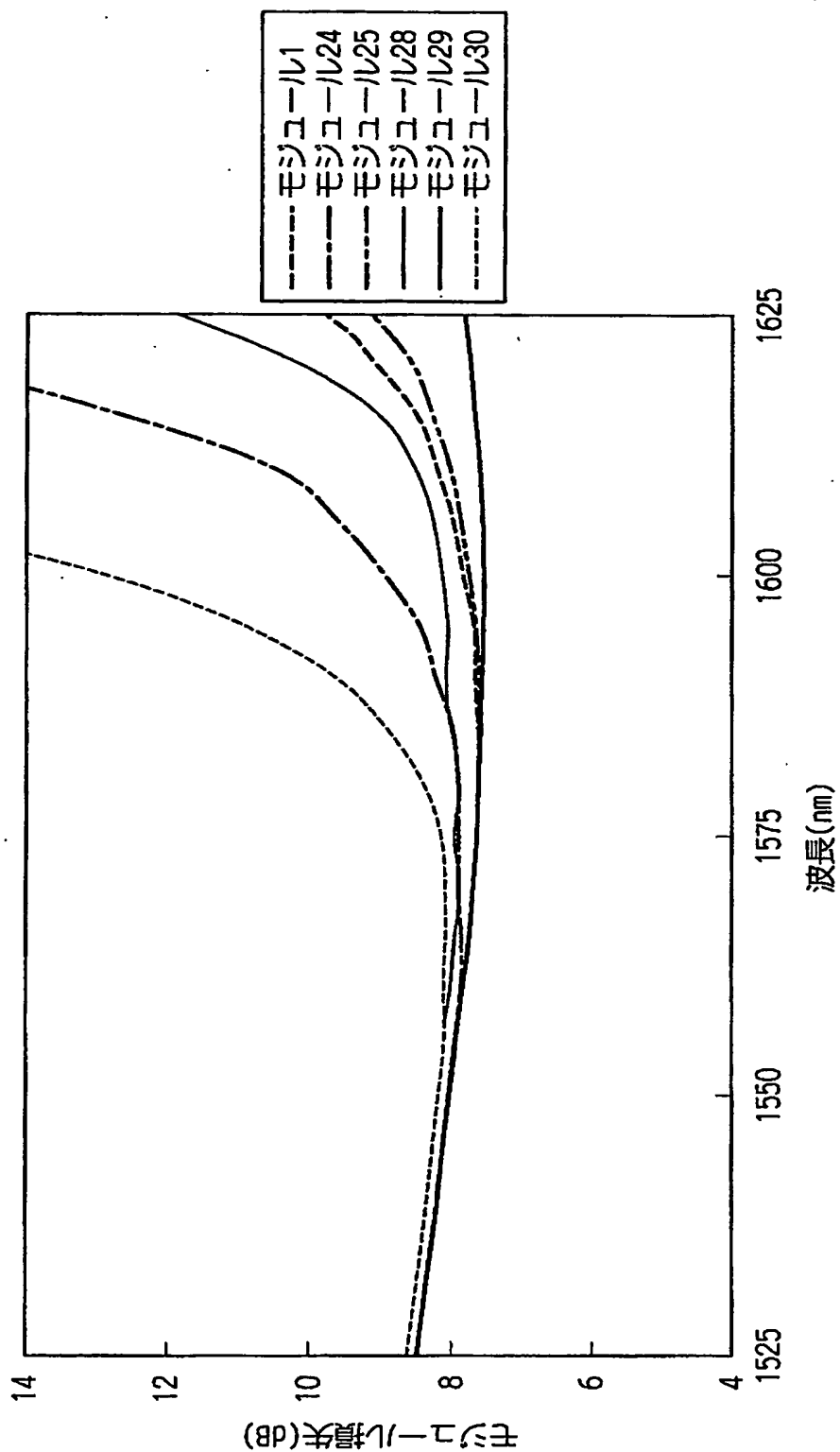
【図7】



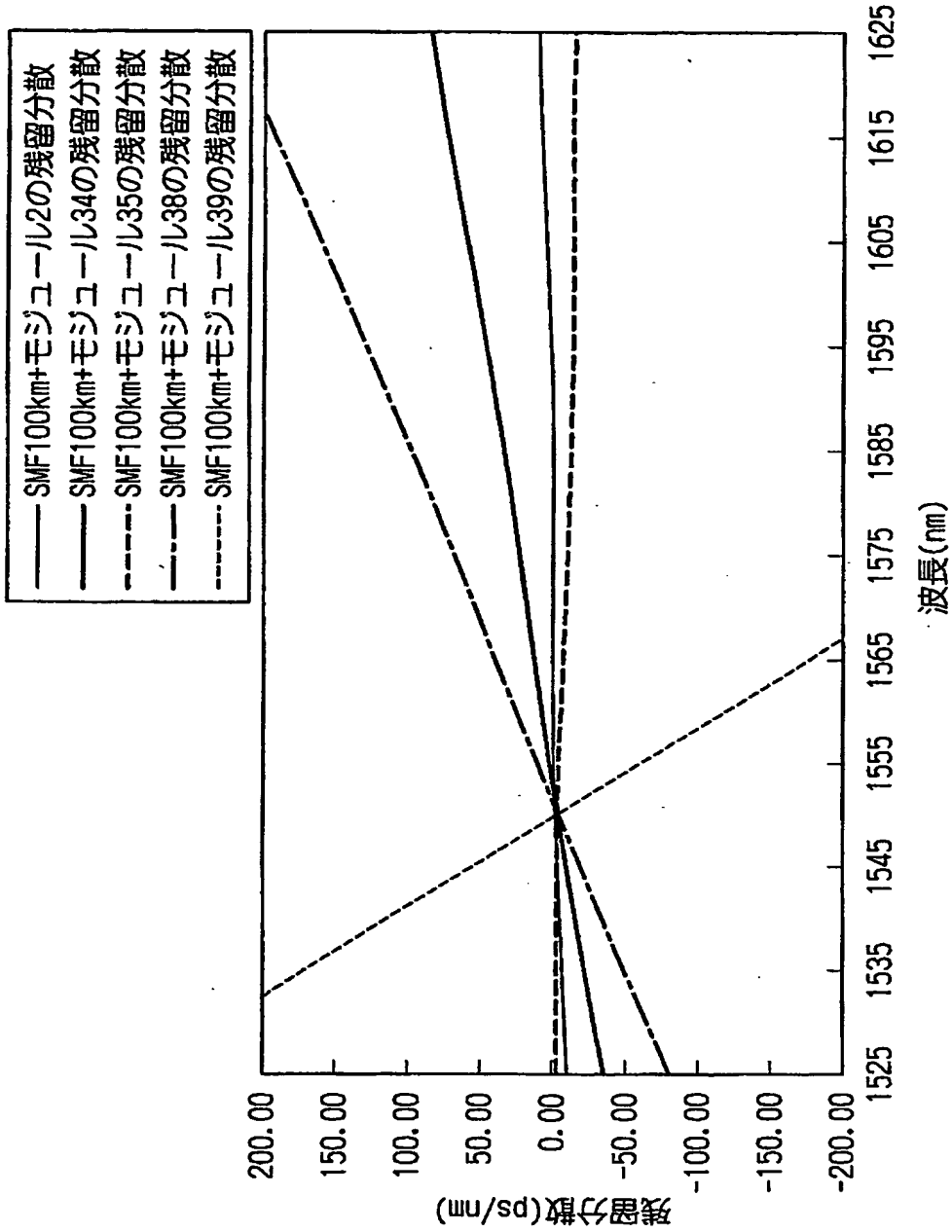
【図 8】



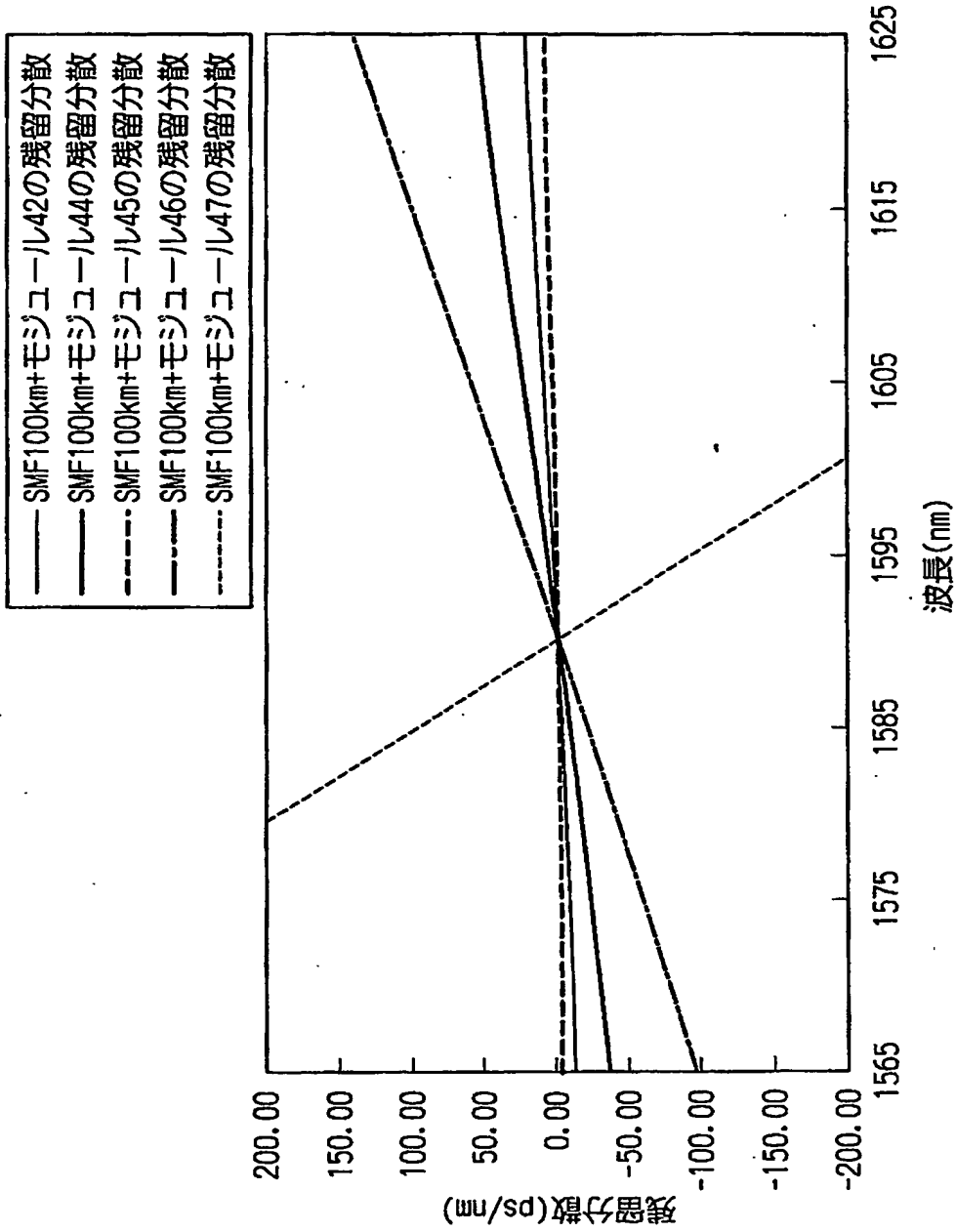
【図9】



【図10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 小型のリールに巻き込んでも、損失増を引き起こさず、安定した温度特性を有する分散補償光ファイバを提供する。

【解決手段】 1. $53 \sim 1.63 \mu\text{m}$ の少なくとも1つ以上の波長において、曲げ直径 20 mm の曲げ損失が 5 dB/m 以下、波長分散が -120 ps/nm/km 以下、使用状態のカットオフ波長が $1.53 \mu\text{m}$ 以下、クラッド外径が $80 \sim 100 \mu\text{m}$ 、被覆外径が $160 \sim 200 \mu\text{m}$ 、被覆樹脂表面の粘着性が 10 gf/mm 以下の分散補償光ファイバを形成する。 b/a を $1.5 \sim 3.5$ 、 c/b を $1.2 \sim 2.0$ 、コア半径を $4 \sim 8 \mu\text{m}$ 、 $\Delta 1$ を $+1.6\% \sim +2.6\%$ 、 $\Delta 2$ を $-0.30\% \sim -1.4\%$ 、 $\Delta 3$ を $-0.30\% \sim +1.0\%$ とする。1次被覆層のヤング率を 0.15 kgf/mm^2 以下、厚さを $20 \sim 30 \mu\text{m}$ 、2次被覆層のヤング率を 50 kgf/mm^2 以上、厚さを $15 \sim 30 \mu\text{m}$ とする。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005186]

1. 変更年月日 1992年10月 2日
[変更理由] 名称変更
住 所 東京都江東区木場1丁目5番1号
氏 名 株式会社フジクラ